



Pengembangan modul pembelajaran Peluruhan Radioaktif untuk mata kuliah Fisika Atom dan Inti pada Program Studi S-1 Pendidikan Fisika

Raden Oktova*, Sofia Nur Azizah, Moh. Irma Sukarelawan

Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Ahmad Dahlan, Indonesia

Email: r.oktova@pfis.uad.ac.id

* Penulis korespondensi

Informasi artikel

Sejarah artikel:
 Dikirim 17/05/23
 Revisi 25/09/23
 Diterima 30/01/24

Kata kunci:

Fisika Atom dan Inti
 Model ADDIE
 Modul pembelajaran
 Peluruhan radioaktif

ABSTRAK

Mata kuliah Fisika Atom dan Inti merupakan salah satu mata kuliah yang penting dan menarik, namun mahasiswa merasa sulit memahami materi peluruhan radioaktif yang abstrak. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah mengembangkan modul pembelajaran peluruhan radioaktif yang layak digunakan untuk menunjang pembelajaran secara mandiri, dan untuk mengetahui tingkat kepuasan pengguna mahasiswa terhadap modul yang dikembangkan. Dalam penelitian ini digunakan model pengembangan ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*). Sebelum uji coba ke pengguna, kelayakan modul divalidasi dengan instrumen kuesioner oleh dua orang dosen ahli materi. Diperoleh tingkat kelayakan rata-rata sebesar 84,2%, yang termasuk kategori sangat layak. Dalam ujicoba, modul pembelajaran dibagikan dalam bentuk *file pdf* kepada 25 orang mahasiswa sebagai sampel pengguna, dan diperoleh tingkat kepuasan pengguna sebesar 86,0%, yang termasuk kategori sangat memuaskan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modul yang dikembangkan sesuai untuk pembelajaran mandiri.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



Keywords:

Atomic and Nuclear Physics
 ADDIE Model
 Learning module
 Radioactive decay

ABSTRACT

The development of a Radioactive Decay learning module for the Atomic and Nuclear physics course at Undergraduate Physics Education Study Program. The Atomic and Nuclear Physics course is one of the important and interesting subjects to study in the Physics Education Bachelor's study program. Still, learning has not progressed as expected because students find it difficult to understand abstract material, including radioactive decay. Therefore, learning media is needed as a tool for independent learning, and one type of appropriate learning media is a module. Research has been carried out to develop a learning module on radioactive decay in Indonesian that is suitable for use to support independent learning and to determine the level of student user satisfaction with the module developed. This research used the ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation*) development model. Before being tested with users, the feasibility of the module was validated using a questionnaire instrument by two material expert lecturers. An average feasibility level of 84.2% was obtained, which is included in the very feasible category. In the trial, the learning module was distributed as a PDF file to 25 students as a sample of users, and a user satisfaction level of 86.0% was obtained, which is in the very satisfactory category. The research results show that the module developed is suitable for independent learning.

How to Cite:

Oktova, R., Azizah, S. N., & Sukarelawan, M. I. (2024). Pengembangan modul pembelajaran Peluruhan Radioaktif untuk mata kuliah Fisika Atom dan Inti pada Program Studi S-1 Pendidikan Fisika. *Berkala Fisika Indonesia: Jurnal Ilmiah Fisika, Pembelajaran dan Aplikasinya*, 15(1), 1–9. <https://doi.org/10.12928/bfi-jifpa.v15i1.28232>

Pendahuluan

Peluruhan radioaktif merupakan salah satu pokok bahasan yang penting dan menarik dalam mata kuliah Fisika Atom dan Inti pada program studi S-1 Pendidikan Fisika karena melibatkan konsep-konsep fisika modern yang canggih, khususnya fisika inti dan mekanika kuantum, dan mempunyai banyak aplikasi dalam bidang sains dan teknologi (Blaum et al., 2013; Leach et al., 2015; Mamane & Benjelloun, 2019). Teori dan eksperimen peluruhan radioaktif dalam inti atom merupakan bidang penelitian yang sangat menarik hingga saat ini. Misalnya, sebuah penelitian dalam bidang fisika inti teoretis menggunakan metode QRPA (*Quasiparticle Random Phase Approximation*) proton-neutron swakonsisten berbasis fungsional kerapatan tenaga Fayans untuk menghitung waktu paruh dan tenaga peluruhan β^- nuklida Nd^{152} (Oktova, 2020). Selain itu, peluruhan radioaktif mempunyai berbagai aplikasi praktis yang penting, dan yang terbaru antara lain adalah mikrobaterai betavoltaik (*betavoltaic microbattery*), yang mengubah tenaga sinar beta dari sumber radioaktif menjadi tenaga listrik menggunakan suatu struktur semikonduktor untuk digunakan pada piranti-piranti berdaya rendah dengan kerapatan tenaga tinggi dan tidak mudah terganggu oleh kondisi lingkungan (Vergeles et al., 2020; Yakimov, 2023). Ada banyak aplikasi peluruhan radioaktif dalam bidang kedokteran, antara lain penggunaan sinar radioaktif untuk penyembuhan kanker (Hauptmann et al., 2020, 2023).

Dalam pembelajaran mata kuliah Fisika Atom dan Inti pada program studi S-1 Pendidikan Fisika di Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta, dosen pengampu menggunakan metode ceramah, yang dilengkapi dengan papan tulis dan presentasi *Powerpoint*, serta berbagi *soft file* pdf buku-buku penunjang berbahasa Inggris. Terlihat bahwa mahasiswa tidak begitu aktif menjawab pertanyaan-pertanyaan dosen (Oktova & Octaviana, 2023). Boleh jadi di luar kegiatan tatap muka mahasiswa tidak mempelajari buku-buku penunjang yang diberikan, sehingga mahasiswa tidak menguasai materi. Ketika diwawancarai, mereka mengatakan bahwa buku-buku penunjang tersebut kurang menarik untuk belajar mandiri karena materi disajikan dengan uraian yang panjang, dengan lambang-lambang besaran fisika yang sebagian berbeda dengan lambang-lambang besaran fisika yang digunakan dosen dalam kegiatan tatap muka. Disimpulkan bahwa mahasiswa memerlukan media pembelajaran alternatif dalam bahasa Indonesia yang tampilannya menarik dan ringkas untuk belajar mandiri. Salah satu alternatif bahan ajar yang dapat digunakan adalah modul, sebab modul merupakan salah satu jenis media pembelajaran untuk belajar secara mandiri (Himmah et al., 2024; Saputri et al., 2024; Utami et al., 2018).

Modul pembelajaran fisika inti telah dikembangkan pada beberapa penelitian terdahulu untuk dijadikan sebagai pelengkap buku teks mata kuliah Fisika Atom dan Inti pada program studi sarjana Pendidikan Fisika. Dalam sebuah penelitian, Oktova, *et al.* (2018) menggunakan proses pengembangan ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) untuk membuat modul pembelajaran bahasa Indonesia tentang reaksi inti. Modul memperoleh kepuasan pengguna sebesar 88,33% termasuk kategori sangat puas. Dalam penelitian berbeda, Pathoni *et al.* (2017)

mengembangkan modul elektronik tentang radioaktivitas dan struktur inti. Modul tersebut menunjukkan tingkat kesesuaian sebesar 89,0% untuk radioaktivitas dan 83,5% untuk struktur inti, keduanya masuk dalam kategori sangat baik. Namun pengembangan model tidak disebutkan dalam penelitian ini. Dalam karya terbarunya, Oktova dan Octaviana (2023) menggunakan metodologi pengembangan ADDIE untuk membuat modul pembelajaran fisika atom mengenai efek Zeeman. Sebesar 84,71% pengguna merasa puas, dan ini merupakan angka yang cukup tinggi.

Dalam penelitian ini, penulis mengembangkan modul fisika inti tentang peluruhan radioaktif dalam bahasa Indonesia untuk digunakan sebagai bahan ajar alternatif pada mata kuliah Fisika Atom dan Inti untuk mahasiswa S-1 Pendidikan Fisika. Karakteristik modul yang dihasilkan adalah ringkas, menarik dan praktis. Modul pembelajaran dapat digunakan dalam bentuk buku tercetak maupun dalam bentuk *file*. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan modul pembelajaran tentang peluruhan radioaktif yang layak digunakan dalam pembelajaran mandiri oleh pengguna mahasiswa, serta untuk menguji tingkat kepuasan pengguna.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan ADDIE (LaMarca & LaMarca, 2024; Susilawati et al., 2019). Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Maret 2022 sampai dengan Agustus 2022 di Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta. Produk yang dihasilkan adalah modul pembelajaran yang berupa buku tercetak dan bisa juga berupa *soft file*.

Tahap *analysis* beserta hasilnya telah diuraikan di muka pada Pendahuluan. Pada tahap *design*, dibuat rencana struktur penyajian materi modul. Pada tahap *development*, dilakukan pengembangan materi yang diikuti oleh uji kelayakan atau validasi oleh dua orang dosen ahli materi. Pada tahap *implementation*, modul yang telah dikembangkan, divalidasi dan direvisi diujicobakan kepada pengguna, yaitu sebanyak 25 orang mahasiswa untuk mengetahui tingkat kepuasan pengguna.

Instrumen yang digunakan dalam uji tingkat kelayakan dan uji tingkat kepuasan adalah berupa kuesioner dengan skala *Likert* (Alhassn et al., 2022; Tanujaya et al., 2022). Dalam uji kelayakan modul, untuk setiap butir pernyataan terdapat 4 pilihan tanggapan atau penilaian dengan rentang penilaian 1 s.d. 4, di mana skor 4 adalah untuk jawaban Sangat Layak (SL), skor 3 untuk Layak (L), skor 2 untuk Kurang Layak (KL), skor 1 untuk Tidak Layak (TL) seperti dalam Tabel 1. Dihitung persentase (*P*) tingkat kelayakan dengan menggunakan persamaan (1).

$$P = \frac{\text{skor hasil penilaian}}{\text{skor maksimum}} \times 100\%. \quad (1)$$

Kuesioner dikembangkan dan dijabarkan sesuai dengan karakteristik modul yang diharapkan, yaitu modul dikembangkan untuk pembelajaran mandiri, ringkas, menarik dan praktis. Butir-butir pernyataan dalam kuesioner diklasifikasikan ke dalam 5 aspek, yaitu aspek materi, aspek manfaat, aspek bahasa, aspek penyajian dan aspek kegrafisan. Validasi kuesioner dilakukan dengan mencermati

kecocokan setiap pernyataan dalam kuesioner terhadap karakteristik modul. Dihasilkan sebanyak 34 butir pernyataan, yaitu 8 butir pada aspek materi, 2 butir pada aspek bahasa, 2 butir pada aspek manfaat, 7 butir pada aspek penyajian dan 7 butir pada aspek kegrafisan.

Tabel 1. Klasifikasi tingkat kelayakan (Oktova & Octaviana, 2023)

No.	Interval Nilai (P)	Tingkat Kelayakan
1	76 – 100 %	Sangat Layak
2	51 – 75 %	Layak
3	26 – 50 %	Kurang Layak
4	0 – 25 %	Tidak Layak

Tingkat kelayakan dalam bentuk kategori kualitatif diperoleh dengan menggunakan Tabel 1. Modul pembelajaran dikatakan layak untuk diujicobakan pada pengguna bila tingkat kelayakan minimum mencapai 76% (kategori sangat layak).

Setelah modul direvisi sesuai saran dan komentar dosen ahli materi, dapat dilakukan ujicoba kepada pengguna. Instrumen pengambilan data kepuasan pengguna adalah kuesioner seperti pada validasi oleh dosen ahli materi. Pada ujicoba dan uji kepuasan pengguna, modul dibagikan dalam bentuk *file* pdf untuk digunakan sebagai media pembelajaran mandiri. Tingkat kepuasan pengguna dihitung dengan persamaan (1), lalu diperoleh kategori kualitatif sesuai Tabel 2, yang disusun mirip dengan Tabel 1 untuk uji kelayakan.

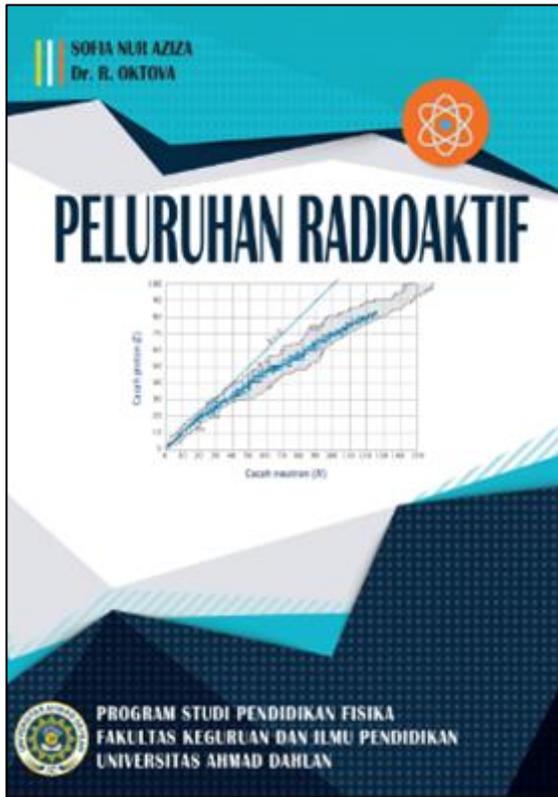
Tabel 2. Klasifikasi tingkat kepuasan mahasiswa (Oktova & Octaviana, 2023)

No.	Nilai P (%)	Tingkat Kepuasan
1	$80 \leq P < 100$	Sangat Memuaskan
2	$60 \leq P < 80$	Memuaskan
3	$40 \leq P < 60$	Cukup Memuaskan
4	$20 \leq P < 40$	Kurang Memuaskan
5	$P < 20$	Tidak Memuaskan

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian ini adalah modul pembelajaran tentang peluruhan radioaktif yang disusun dalam format penulisan SOS (Schaum's Outline Series). Modul ini mencakup ringkasan materi, contoh soal dan penyelesaian, serta latihan soal dengan kunci jawaban (Gautreau & Savin, 1999; Oktova & Octaviana, 2023). Secara lengkap, modul ini mencakup berbagai bagian seperti Sampul Depan, Halaman Judul, Kata Pengantar, Daftar Isi, Spesifikasi Modul, Tinjauan Mata Kuliah, Capaian Pembelajaran, Pedoman Penggunaan Modul, Daftar Lambang, Daftar Tabel, Daftar Gambar, Ringkasan Materi, Contoh Soal dan Penyelesaian, Latihan dan Kunci Jawaban, Daftar Pustaka, Indeks Istilah, Lampiran, dan Sampul Belakang.

Gambar 1 menampilkan tampilan sampul depan. Isi materi disusun dalam format SOS yang mencakup ringkasan materi, contoh soal dan penyelesaian, serta latihan soal dengan kunci jawaban, disajikan dalam dua bab, yakni Bab I Pendahuluan yang membahas konsep-konsep dasar untuk mendukung pemahaman tentang peluruhan radioaktif, dan Bab II yang membahas peluruhan radioaktif itu sendiri. Tampilan Daftar Isi dapat ditemukan dalam Gambar 2.



Gambar 1. Tampilan sampul depan

Daftar Isi	
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Spesifikasi Modul	vi
Tinjauan Mata Kuliah	vii
Capaian Pembelajaran	viii
Pedoman Penggunaan	ix
Daftar Lambang	x
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xii
Pendahuluan	1
1.1 Nomor Massa dan Nomor Atom	1
1.2 Isotop, Isoton, Isobar	3
Contoh Soal dan Penyelesaian	4
Latihan Soal	7
Peluruhan Radioaktif	9
2.1 Pengertian Peluruhan	9
2.2 Peluruhan Alfa, Beta, dan Gamma	10
2.3 Hukum-Hukum Peluruhan	12
2.4 Penanggalan Radioaktif	15
Contoh Soal dan Penyelesaian	17
Latihan Soal	30
Daftar Pustaka	35
Indeks Istilah	36
Kunci Jawaban	37

Gambar 2. Tampilan Daftar Isi.

Tabel 3 menunjukkan hasil uji kelayakan oleh dua orang dosen ahli materi terhadap *draft* modul yang telah disusun. Dari hasil tersebut terlihat persentase tertinggi terletak pada aspek materi. Hal ini menunjukkan bahwa modul menyajikan materi secara berurutan dan jelas serta telah disesuaikan dengan hasil pembelajaran dan indikator yang ditetapkan. Konsep materi dalam modul dijelaskan secara detail dan mudah dipahami. Namun persentase terendah ada pada aspek grafis. Hal ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan perbaikan terhadap gambar-gambar yang ada pada modul untuk meningkatkan efektivitas modul sebagai sumber belajar mandiri bagi mahasiswa dan memenuhi kebutuhan prestasi belajar. Secara keseluruhan hasil validasi kedua dosen ahli menunjukkan bahwa modul ini sangat layak untuk diujikan kepada mahasiswa, dengan tingkat kelayakan rata-rata sebesar 84,2%.

Tabel 3. Tingkat kelayakan pada masing-masing aspek oleh dosen ahli

Aspek	Persentase Kelayakan (%)	Klasifikasi Kelayakan
Materi	89,1	Sangat Layak
Bahasa	81,9	Sangat Layak
Penyajian	87,5	Sangat Layak
Kegrafisan	75,0	Layak
Kebermanfaatan	87,5	Sangat Layak

Selain memberikan tingkat kelayakan draf modul, dosen ahli juga memberikan beberapa saran perbaikan yang ditindaklanjuti sebelum modul diujicobakan kepada mahasiswa. Saran-saran ini beserta tindak lanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Saran-saran perbaikan modul oleh dosen ahli dan tindak lanjut

No.	Saran	Tindak lanjut
1	<p>Pada beberapa bagian Lay out supaya diperbaiki. Contoh: hal 10 baris ke 4,</p> <p>dengan $\sum Z_i = Z_1$ = nomor atom nuklida induk yang meluruh, $\sum Z'_j = Z'_1 + Z'_2 + \dots$ = jumlah nomor atom nuklida anak dan partikel yang dihasilkan (produk) dari peluruhan,</p> <p>Kalimat "dihasilkan ..." sebaiknya menjorok masuk lurus dengan Z1</p>	Memperbaiki beberapa lay out seperti yang telah disarankan dosen ahli materi
2	<p>Persamaan (2.18) menunjukkan bahwa <i>laju peluruhan</i>, yaitu cacah inti radioaktif yang meluruh per satuan waktu, bernilai negatif. <i>Aktivitas peluruhan (R)</i> adalah nilai mutlak dari $\frac{dN}{dt}$.</p> <p>$\frac{dN}{dt}$ seharusnya ditulis miring</p>	Memperbaiki penulisan persamaan
3	<p>Pada sub bab 2.4</p> <p>perbandingan (r)</p> <p>r supaya miring</p>	Memperbaiki penulisan persamaan

Untuk mengetahui tingkat kepuasan mahasiswa pengguna, dilakukan uji coba secara terhadap 28 mahasiswa S1 Pendidikan Fisika angkatan 2018 yang telah mengambil mata kuliah Fisika Atom dan Nuklir. Dari 28 siswa, akhirnya 25 siswa mengisi angket. Uji coba berlangsung pada 1–8 Agustus 2022. Pada Tabel 5 disajikan hasil uji kepuasan pengguna. Terlihat persentase yang cukup merata pada semua aspek dan semuanya menunjukkan kategori sangat memuaskan. Namun persentase tertinggi terdapat pada aspek materi (87,7%). Hasil penilaian menunjukkan bahwa keunggulan modul ini terletak pada aspek materi. Modul ini menampilkan materi dengan menggunakan simbol-simbol besaran fisis yang sesuai dengan yang digunakan dalam pengajaran dan dilengkapi dengan *review* mata kuliah untuk memperjelas posisi materi mengenai peluruhan radioaktif. Persentase terendah terdapat pada aspek grafis. Berdasarkan saran pengguna, aspek grafis perlu ditingkatkan dengan kombinasi warna yang lebih beragam agar tampilan lebih menarik. Secara keseluruhan mahasiswa merasa senang dengan modul yang digunakan sebagai sumber belajar mandiri, dengan tingkat kepuasan keseluruhan sebesar 86,0%.

Tabel 5. Tingkat kepuasan mahasiswa

Aspek	Persentase Kepuasan (%)	Klasifikasi Kepuasan
Materi	87,70	Sangat Memuaskan
Bahasa	86,00	Sangat Memuaskan
Penyajian	86,50	Sangat Memuaskan
Kegrafisan	83,90	Sangat Memuaskan
Kebermanfaatan	82,95	Sangat Memuaskan

Selain mengevaluasi kepuasan siswa, pengujian dengan pengguna mahasiswa menghasilkan 21 komentar dan saran. Tabel 6 berisi tujuh kutipan dari 21 komentar dan saran, dan secara keseluruhan, komentar tersebut konsisten dengan data tingkat kepuasan yang dikumpulkan. Sebagai contoh, komentar dan saran ke-5 dalam Tabel 6 "Modul sudah bagus sekali, namun alangkah baiknya di *cover* di berikan gambar yang lebih menarik" menyangkut sampul depan memberikan gambaran bahwa pengguna tidak begitu puas dengan tampilan sampul depan, dan ini sejalan dengan data kepuasan

pengguna terhadap butir pernyataan "Tampilan sampul modul menarik" dalam aspek kegrafisan, yaitu 3,16, yang merupakan salah satu skor persentase terendah dari semua butir dalam aspek kegrafisan.

Tabel 6. Rangkuman saran dan komentar dari pengguna mahasiswa

No.	Komentar dan Saran
1	Overall sudah sangat bagus. Saya suka pemilihan font nya, daripada menggunakan font Arial yg sangat membuat jenuh saat dibaca. Cocok juga buat pegangan mahasiswa karena dibidang mudah dipahami dilihat dari sub-sub judul yang tersusun rapi.
2	Untuk keseluruhan sudah baik dan terlihat klasik cocok untuk anak kuliah.
3	Mungkin penulisan rumus agak diberi jarak lg. khususnya halaman 18 dan 22.
4	Sudah baik. Mungkin di bagian Sub Judul diberi tambahan frame supaya lebih jelas dan tegas.
5	Modul sudah bagus sekali, naun alangkah lebih baiknya di cover di berikan gambar yang lebih menarik.
6	Sudah bagus dan layak.
7	Modulnya sudah sangat baik.

Berdasarkan penelitian dan pengembangan ekstensif yang dilakukan terhadap berbagai modul pembelajaran dan perangkat digital di bidang pendidikan fisika, terlihat bahwa pengembangan modul pembelajaran topik Peluruhan Radioaktif pada mata kuliah Fisika Atom dan Inti merupakan suatu upaya yang kritis (Cahyanto et al., 2022; Ibrahim & Yusuf, 2019; Mas'ud & M, 2022). Penelitian dan pengembangan ekstensif di bidang pendidikan fisika telah memberikan wawasan dan metodologi yang berharga untuk pengembangan modul pembelajaran yang efektif dan menarik untuk topik Peluruhan Radioaktif pada mata kuliah Fisika Atom dan Inti. Upaya tersebut tidak hanya berkontribusi dalam meningkatkan hasil belajar mahasiswa tetapi juga memperkaya pengalaman belajar mengajar dalam pendidikan fisika.

Simpulan

Telah dilakukan penelitian untuk mengembangkan modul pembelajaran fisika tentang peluruhan radioaktif untuk mata kuliah Fisika Atom dan Inti pada S-1 Pendidikan Fisika dengan model pengembangan ADDIE dan format penulisan SOS (*Schaum's Outline Series*). Berdasarkan uji kelayakan oleh dua dosen ahli materi, draf modul mempunyai tingkat kelayakan sebesar 84,2 %, yang termasuk kategori sangat layak untuk diujicobakan. Setelah direvisi, modul diujicobakan kepada mahasiswa dan diperoleh tingkat kepuasan mahasiswa sebesar 86,0 %, yang termasuk kategori sangat memuaskan.

Keterbatasan penelitian ini adalah tidak dilakukan uji validitas empiris dan uji reliabilitas empiris (Maenani & Oktova, 2015) terhadap instrumen pengukuran (kuesioner) sebelum digunakan, melainkan hanya dilakukan validasi secara teoretis atau validasi isi. Mengingat modul yang dikembangkan mendapat respon sangat memuaskan dari pengguna mahasiswa, disarankan pengembangan modul fisika selanjutnya untuk pokok-pokok bahasan yang lain menggunakan format penulisan SOS.

Referensi

- Alhassan, I., Asiamah, N., Opuni, F. F., & Alhassan, A. (2022). The Likert scale: exploring the unknowns and their potential to mislead the world. *UDS International Journal of Development*, 9(2), 867–880. <https://doi.org/10.47740/586.UDSIJD6i>
- Blaum, K., Dilling, J., & Nörtershäuser, W. (2013). Precision atomic physics techniques for nuclear physics with radioactive beams. *Physica Scripta*, T152, 014017. <https://doi.org/10.1088/0031-8949/2013/T152/014017>
- Cahyanto, A., Lesmono, A. D., & Handayani, R. D. (2022). Pengembangan E-Modul Interaktif Berbasis Articulate Storyline 3 untuk Melatihkan Kemampuan Berpikir Kritis pada Pokok Bahasan Gelombang Bunyi. *Jurnal Literasi Pendidikan Fisika (JLPF)*, 3(2), 154–164. <https://doi.org/10.30872/jlpf.v3i2.1551>
- Gautreau, R., & Savin, W. (1999). *Schaum's Outline of Modern Physics (Schaum's Outline Series)* (2nd Edition). McGraw-Hill.
- Hauptmann, M., Byrnes, G., Cardis, E., Bernier, M.-O., Blettner, M., Dabin, J., Engels, H., Istad, T. S., Johansen, C., Kajiser, M., Kjaerheim, K., Journy, N., Meulepas, J. M., Moissonnier, M., Ronckers, C., Thierry-Chef, I., Le Cornet, L., Jahnen, A., Pokora, R., ... Kesminiene, A. (2023). Brain cancer after radiation exposure from CT examinations of children and young adults: results from the EPI-CT cohort study. *The Lancet Oncology*, 24(1), 45–53. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(22\)00655-6](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(22)00655-6)
- Hauptmann, M., Daniels, R. D., Cardis, E., Cullings, H. M., Kendall, G., Laurier, D., Linet, M. S., Little, M. P., Lubin, J. H., Preston, D. L., Richardson, D. B., Stram, D. O., Thierry-Chef, I., Schubauer-Berigan, M. K., Gilbert, E. S., & Berrington de Gonzalez, A. (2020). Epidemiological Studies of Low-Dose Ionizing Radiation and Cancer: Summary Bias Assessment and Meta-Analysis. *JNCI Monographs*, 2020(56), 188–200. <https://doi.org/10.1093/jncimonographs/lgaa010>
- Himmah, U., Yusuf, M., & Draji, N. A. (2024). Pemanfaatan E-Modul Berbasis Multimodal sebagai Media Pembelajaran Menulis Berita. *JlIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 7(2), 1241–1248. <https://doi.org/10.54371/jiip.v7i2.3342>
- Ibrahim, E., & Yusuf, M. (2019). Implementasi modul pembelajaran fisika dengan menggunakan model react berbasis kontekstual pada konsep usaha dan energi. *Jambura Physics Journal*, 1(1), 1–13. <https://doi.org/10.34312/jpj.v1i1.2281>
- LaMarca, V. J., & LaMarca, J. M. (2024). Using the ADDIE Model of Instructional Design to Create Programming for Comprehensive ABA Treatment. *Behavior Analysis in Practice*. <https://doi.org/10.1007/s40617-024-00908-2>
- Leach, K. G., Grossheim, A., Lennarz, A., Brunner, T., Crespo López-Urrutia, J. R., Gallant, A. T., Good, M., Klawitter, R., Kwiatkowski, A. A., Ma, T., Macdonald, T. D., Seeraji, S., Simon, M. C., Andreoiu, C., Dilling, J., & Frekers, D. (2015). The TITAN in-trap decay spectroscopy facility at TRIUMF. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 780, 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2014.12.118>
- Maenani, L., & Oktova, R. (2015). Analisis Butir Soal Fisika Ulangan Umum Kenaikan Kelas X Madrasah Aliyah Se-Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah Tahun Pelajaran 2011/2012. *Berkala Fisika Indonesia: Jurnal Ilmiah Fisika, Pembelajaran Dan Aplikasinya*, 7(1), 5–11. <https://doi.org/10.12928/bfi-jifpa.v7i1.1539>
- Mamane, & Benjelloun. (2019). Development and Experimentation of a New Mathematical Model for Teaching–Learning the Radioactive Decay Law. *Education Sciences*, 9(2), 123. <https://doi.org/10.3390/educsci9020123>
- Mas'ud, H., & M, M. (2022). Pemanfaatan Produk Google Serta Situs PHET (Physics Education Technology) Sebagai Media Pembelajaran Fisika Berupa Stimulus. *Al-Ishlah: Jurnal Pendidikan Islam*, 20(2), 170–178. <https://doi.org/10.35905/alishlah.v20i2.3100>
- Oktova, R. (2020). A proton-neutron QRPA Calculation of the β - Decay of Nd 152 using the Fayans Energy Density Functional. *Journal of Physics: Conference Series*, 1428(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1428/1/012013>
- Oktova, R., & Octaviana, I. K. M. (2023). Pengembangan modul pembelajaran tentang Efek Zeeman pada mata kuliah fisika atom dan inti untuk S-1 Pendidikan Fisika. *Berkala Fisika Indonesia: Jurnal Ilmiah Fisika, Pembelajaran Dan Aplikasinya*, 14(2), 82–91. <https://doi.org/10.12928/bfi-jifpa.v14i2.26589>
- Pathoni, H., Jufrida, J., Saputri, I., & Sari, W. (2017). Persepsi Mahasiswa terhadap E-Modul Pembelajaran Mata Kuliah Fisika Atom dan Inti. *Jurnal Eksakta Pendidikan (JEP)*, 1(1), 55. <https://doi.org/10.24036/jep/vol1-iss1/35>

- Permadi, D. (2018). Pengembangan Modul E-Learning Berbasis Project Based Learning (PJBL) Pada Mata Kuliah Media Pembelajaran Fisika. *Jurnal Ilmu Fisika Dan Pembelajarannya (JIFP)*, 2(2), 1–12. <https://doi.org/10.19109/jifp.v2i2.2649>
- Saputri, S. N., Drajadi, N. A., & Sukmawati, F. (2024). Pengembangan E-Modul Berbasis Multimodal untuk Mendukung Pembelajaran PJOE pada Siswa SD. *JIIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 7(2), 1234–1240. <https://doi.org/10.54371/jiip.v7i2.3343>
- Susilawati, S., Ishafit, I., & Setyawati, E. (2019). Development Student Worksheet in the Topic of Regular Circular Motion with Blended Learning based Edmodo as Learning Motivations for Student. *Indonesian Review of Physics*, 2(2), 28–33. <https://doi.org/10.12928/irip.v2i2.1006>
- Tanujaya, B., Prahmana, R. C. I., & Mumu, J. (2022). Likert Scale in Social Sciences Research: Problems and Difficulties. *FWU Journal of Social Sciences*, 16(4), 89–101. <https://doi.org/10.51709/19951272/Winter2022/7>
- Utami, T. N., Jatmiko, A., & Suherman, S. (2018). Pengembangan Modul Matematika dengan Pendekatan Science, Technology, Engineering, And Mathematics (STEM) pada Materi Segiempat. *Desimal: Jurnal Matematika*, 1(2), 165. <https://doi.org/10.24042/djm.v1i2.2388>
- Vergeles, P. S., Kulanchikov, Y. O., & Yakimov, E. B. (2020). Charging Effects in Al-SiO₂-p-Si Structures After Low-Energy Electron Beam Irradiation. *Journal of Electronic Materials*, 49(9), 5178–5183. <https://doi.org/10.1007/s11664-020-08080-3>
- Yakimov, E. B. (2023). Prediction of Betavoltaic Battery Parameters. *Energies*, 16(9), 3740. <https://doi.org/10.3390/en16093740>